

1/19/1

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI

(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

013260343 **Image available**

WPI Acc No: 2000-432238/ 200038

Related WPI Acc No: 2000-432244; 2000-442046

XRPX Acc No: N00-322610

Microlithographic reduction objective for projection exposure system has numerical aperture on image side greater than 0.65, pref. greater than 0.68, system aperture in fifth lens group

Patent Assignee: ZEISS FA CARL (ZEIS); ZEISS CARL (ZEIS); ZEISS STIFTUNG CARL (ZEIS); ZEISS STIFTUNG T/A CARL ZEISS (ZEIS)

Inventor: BEIERL H; SCHUSTER K

Number of Countries: 029 Number of Patents: 006

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 19855108	A1	20000531	DE 1055108	A	19981130	200038 B
EP 1006389	A2	20000607	EP 99121205	A	19991023	200038
JP 2000171706	A	20000623	JP 99317966	A	19991109	200041
KR 2000034926	A	20000626	KR 9939313	A	19990914	200111
US 6349005	B1	20020219	US 99416105	A	19991012	200221
TW 480347	A	20020321	TW 99119509	A	19991109	200308

Priority Applications (No Type Date): DE 1055108 A 19981130

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
-----------	------	-----	----	----------	--------------

DE 19855108	A1	24		G02B-013/24	
-------------	----	----	--	-------------	--

EP 1006389	A2	G		G02B-013/24	
------------	----	---	--	-------------	--

Designated States (Regional): AL AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT

LI LT LU LV MC MK NL PT RO SE SI

JP 2000171706	A	19		G02B-013/24	
---------------	---	----	--	-------------	--

KR 2000034926	A			G03F-007/20	
---------------	---	--	--	-------------	--

US 6349005	B1			G02B-009/60	
------------	----	--	--	-------------	--

TW 480347	A			G02B-027/00	
-----------	---	--	--	-------------	--

Abstract (Basic): DE 19855108 A1

NOVELTY - The microlithographic reduction objective has a lens arrangement consisting of a first lens group (LG1) with a positive converging power, a second lens group (LG2) with a negative converging power, a third lens group (LG3) with a positive converging power, a fourth lens group (LG4) with a negative converging power and a fifth lens group (LG5) with a positive converging power. The numerical aperture on the image side is greater than 0.65, pref. greater than 0.68. The system aperture (AS) is located in the fifth lens group, in which at least two lenses are in front of the aperture.

DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT CLAIMS are also included for a projection exposure system and a method of manufacturing microstructured components.

USE - For manufacturing microstructured components.

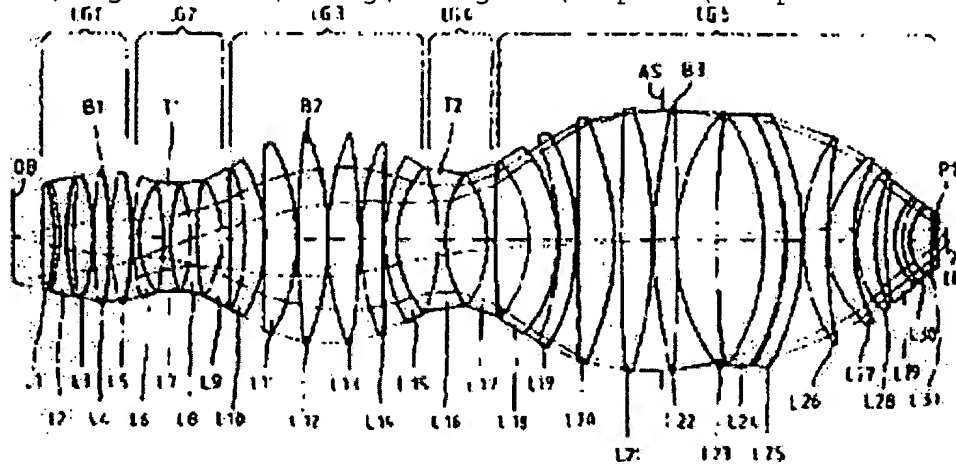
ADVANTAGE - The objective has a high resolution for a large image field and a small overall length and achieves stable image error correction, esp. wrt. distortion, even for different types of illumination and significant stopping.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a schematic representation of an example lens arrangement lens groups (LG-LG5)

system aperture (AS)

pp; 24 DwgNo 1/7

C:\Program Files\Dialog\DialogLink\Graphics\C.bmp



Title Terms: REDUCE; OBJECTIVE; PROJECT; EXPOSE; SYSTEM; NUMERIC; APERTURE;
IMAGE; SIDE; GREATER; PREFER; GREATER; SYSTEM; APERTURE; FIFTH; LENS;
GROUP

Derwent Class: P81; P84

International Patent Class (Main): G02B-009/60; G02B-013/24; G02B-027/00;
G03F-007/20

International Patent Class (Additional): G02B-009/64; G02B-013/14;
H01L-021/027

File Segment: EngPI



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 198 55 108 A 1

51 Int. Cl.⁷:
G 02 B 13/24
G 02 B 13/14
G 03 F 7/20

21 Aktenzeichen: 198 55 108.8
22 Anmeldetag: 30. 11. 1998
43 Offenlegungstag: 31. 5. 2000

DE 198 55 108 A 1

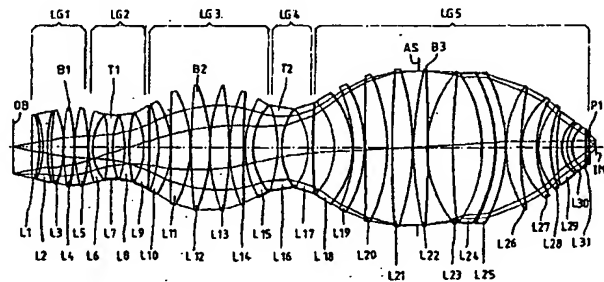
71 Anmelder:
Fa. Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

72 Erfinder:
Schuster, Karl-Heinz, 89551 Königsbronn, DE;
Beierl, Helmut, 89522 Heidenheim, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Mikrolithographisches Reduktionsobjektiv, Projektionsbelichtungsanlage und -Verfahren

57 Mikrolithographisches Projektionsobjektiv mit einer Linsenordnung, bestehend aus einer ersten Linsengruppe (LG1) positiver Brechkraft, einer zweiten Linsengruppe (LG2) negativer Brechkraft, einer dritten Linsengruppe (LG3) negativer Brechkraft, einer vierten Linsengruppe (LG4) negativer Brechkraft und einer fünften Linsengruppe (LG5) positiver Brechkraft wobei die Systemblende (AS) in der fünften Linsengruppe (LG5) liegt und mindestens zwei Linsen dieser Linsengruppe (LG5) vor der Systemblende (AS) liegen. Dabei ist vorgesehen, daß die bildseitige numerische Apertur größer als 0,65 ist (in Beispielen bis 0,8), oder daß diese Linsengruppe (LG5) mindestens 13 Linsen (L18-31) aufweist, oder daß die Systemblende (AS) im Bereich der Linse (L22), an der das Lichtbündel den größten Durchmesser annimmt, und ihrer benachbarten Linsen (L21, L23) angeordnet ist.



DE 198 55 108 A 1

Beschreibung

Das gattungsgemäße mikrolithographische Reduktionsobjektiv nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist ein rein refraktives Hochleistungsobjektiv, wie es für die hochauflösende Mikrolithographie besonders im DUV-Wellenlängenbereich benötigt wird.

Derartige refraktive Objektive mit zwei Strahltaillen sind schon in dem Artikel von E. Glatzel "New lenses for microlithography" SPIE, Vol. 237, 310 (1980) beschrieben und seitdem ständig weiterentwickelt worden. Gattungsgemäße Objektive der Firma Carl Zeiss werden in Wafer-Steppern und Wafer-Scannern PAS der Firma ASML, Niederlande, verkauft.

- Ein derartiges Objektiv der Firma Tropol aus dem Jahre 1991 ist in Fig. 16 von J. H. Bruning "Optical Lithography – Thirty years and three orders of magnitude" SPIE, Vol 3049, 14–27 (1997) gezeigt. Zahlreiche Varianten gattungsgemäßer Projektionsobjektive finden sich in Patentanmeldungen, so EP 0 712 019-A (US Ser. 337 647 v. 10. Nov. 1994), EP 0 717 299-A, EP 0 721 150-A, EP 0 732 605-A, EP 0 770 895-A, EP 0 803 755-A (US 5,781,278), EP 0 828 172-A.

- Ähnliche Objektive mit noch etwas kleinerer numerischer Apertur finden sich auch in SU 1 659 955-A, EP 0 742 492-A (Fig. 3) US 5,105,075 (Fig. 2 und 4), US 5,260,832 (Fig. 9) und DD 299 017-A.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Objektivtyp anzugeben, der im Umfeld des bekannten Stands der Technik durch hohe Auflösung bei großem Bildfeld und kleiner Baulänge hervorragt und dessen Bildfehlerkorrektur, besonders hinsichtlich der Verzeichnung, auch mit verschiedenen Beleuchtungsarten (verschiedener Kohärenzgrad usw.) und bei deutlichem Abblenden (für Belichtungen mit größerem Schärfentiefenbereich) stabil bleibt.

- Die Lösung der Aufgabe gelingt mit einem Objektiv nach einem der Ansprüche 1, 2 und 11.

Die Blende wird in die fünfte Linsengruppe im Bereich des dritten Bauchs des Lichtbündels verlegt. Insgesamt erhält diese fünfte Linsengruppe und die Einbindung der Systemblende mehr Bedeutung. Die beim Stand der Technik teilweise der Ausbildung der Taillen, speziell der ersten, gewidmete Aufmerksamkeit wird dann weitgehend bedeutungslos, wie die Ausführungsbeispiele zeigen.

- Die hohe numerische Apertur als primäres Mittel zur Erzielung hoher Auflösung strapaziert das Design im wesentlichen zwischen Systemblende und Bildebene, besonders wenn Baulänge und Linsendurchmesser einigermaßen klein bleiben sollen, was insbesondere für eine leichte Integration in vorhandene Konzepte von Projektionsbelichtungsanlagen und für die Fertigung, sowie auch aus Kostengründen stark bevorzugt wird.

Demgemäß geben die Unteransprüche 3 bis 9 und 12 vorteilhafte Ausführungsformen der fünften Linsengruppe an.

- Unteranspruch 10 betrifft die besonders vorteilhafte Abblendbarkeit des Objektivs, die durch jeweils einzelne Minimierung der verschiedenen Bildfehler erreicht wird. Dies wird wiederum mit dem Designkonzept der Erfindung ermöglicht. Anders als bei einem Objektiv mit fester Apertur können nicht verschiedene große Fehler subtraktiv ausgemittelt werden. Der Vorteil ist, daß der Anwender das trade-off von Auflösung und Schärfentiefe jeweils bezogen auf den Anwendungsfall optimieren kann.

- Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche 13 bis 16. Eine Projektionsbelichtungsanlage nach den Ansprüchen 17 oder 18 ergibt die optimale Anwendung dieser Objektive und zeichnet sich durch große Anwendungsbreite aus. Besondere Bedeutung hat die nach Anspruch 18 erreichte große Toleranz der Abbildungsleistung gegen Änderungen des Beleuchtungssettings.

Das Herstellverfahren nach Anspruch 19 macht von der hervorragenden Korrektur des Objektivs durch flexible Beleuchtungs- und Apertureinstellung bei verschiedenen im Herstellprozess aufeinanderfolgenden Belichtungen Gebrauch. Die einzelnen Belichtungen können dabei auf einer Projektionsbelichtungsanlage mit verschiedenen Masken erfolgen, oder es können mehrere erfindungsgemäße Projektionsbelichtungsanlagen – auch in Kombination mit anderen – in einer Fertigungslinie genutzt werden.

Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnung.

- Dabei zeigen:

Fig. 1 den Linsenschnitt eines ersten Ausführungsbeispiels;

Fig. 2 den Linsenschnitt eines zweiten Ausführungsbeispiels;

Fig. 3 den Linsenschnitt eines dritten Ausführungsbeispiels;

Fig. 4a–c die Queraberrationen im Sagittalschnitt für verschiedene Bildhöhen zu Fig. 1;

- Fig. 5a–c die Queraberrationen im Meridionalschnitt für verschiedene Bildhöhen zu Fig. 1;

Fig. 6 den Linsenschnitt eines vierten Ausführungsbeispiels; und

Fig. 7 schematisch ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Projektionsbelichtungsanlage.

- Entsprechend dem primären Bedarf für ein erfindungsgemäßes Projektionsobjektiv sind die Beispiele der Fig. 1 bis 3 und 6 für den Betrieb mit einem in der DUV-Mikrolithographie üblichen Excimer-Laser von 248,38 nm Wellenlänge ausgelegt und enthalten ausschließlich Quarzglas-Linsen. Ihre Schnittweite liegt mit 1000 mm für Fig. 2, 3 und 6 bis 1150 mm bei Fig. 1 am unteren Ende des Gebräuchlichen und des Machbaren. Die numerische Apertur von 0,70 (bei den Fig. 2, 3 und 6) und 0,80 bei Fig. 1 liegt deutlich über dem vorbekannten, zeigt die Potenz des erfindungsgemäßen Designs und erlaubt die Ausführung der Mikrolithographie mit Auflösungen bis herunter zu 0,18 µm und weniger unter Serien-Produktionsbedingungen. Solche Auflösungen galten noch vor kurzem als überhaupt nicht mit der optischen Lithographie zugänglich.

Mit einer Bildhöhe $2Y_B = 27,2$ mm ergibt sich so bei $NA = 0,70$ der sehr hohe Lichtleitwert von $LLW = NA \cdot 2 Y_B = 19,04$. Das Objektiv ist damit für einen Scanner mit einem 8×26 mm²-Bildfeld geeignet.

- Beachtlich ist dabei, daß die Steigerung der bildseitigen numerischen Apertur von 0,63 schon zu dem erreichten Wert von 0,70 (Fig. 2, 3, 6) wesentlich schwieriger ist als etwa die Steigerung von 0,45 zu 0,6, da bekanntlich bei $NA = 1,0$ in Luft alle Bildfehler einen Pol erreichen und entsprechend bei Annäherung an diesen Wert immer stärker ansteigen bzw. immer schwerer zu korrigieren sind. Das Beispiel der Fig. 1 zeigt also mit $NA = 0,8$ eine hervorragende Konstruktion.

Die Linsendaten des Ausführungsbeispiels nach Fig. 1 sind in Tabelle 1 angegeben. 31 Linsen L1 bis L31 und eine Planplatte P1 sind vorgesehen. P1 dient als leicht tauschbares waferseitiges Abschlußfenster.

Der erreichte RMS-Fehler von unter 13 mλ über alle Bildhöhen zeigt eine hervorragende Abbildungsleistung.

Die Linsen L1 bis L5 bilden die erste Linsengruppe LG1 mit dem ersten Bauch B1 des Lichtbündels an der Rückfläche der Linse L4. Eine negative Linse L2 leistet die erforderliche Strahlaufweitung.

Die Linsengruppe LG2 aus den negativen Linsen L6 bis L9 bildet an der Rückfläche der Linse L7 die erste Taille T1. Typisch für diese Linsengruppe LG2 sind die zur Taille konkaven Menisken L6 und L9.

Die dritte Linsengruppe LG3 besteht aus den fünf positiven Linsen L10 bis L14, deren äußere L10 und L14 jeweils als außenseitig konkave Menisken ausgebildet sind, sowie dem negativen bildseitig konkaven Meniskus L15. An der Rückfläche der Linse L12 ist der zweite Bauch B2 mit dem örtlich maximalen Lichtbündeldurchmesser ausgebildet.

Die vierte Linsengruppe LG4 besteht aus zwei Negativlinsen L16 und L17. An der Rückfläche der Linse L16 ist die zweite Taille T2 ausgebildet. Hier ist eine starke bikonvexe Luftlinse ausgebildet.

Die fünfte Linsengruppe LG5 mit den 14 Linsen L18 bis L31 ist für das erfindungsgemäße Objektiv am bedeutendsten.

Vor der Linse L22 ist die Systemblende AS angeordnet. An der Vorderfläche der folgenden Linse L22 ist der dritte Bauch B3 mit seinem gegenüber dem Blendendurchmesser (306,3 mm) nur geringfügig größeren Lichtbündeldurchmesser (308,0 mm) ausgebildet.

Erfindungsgemäß erfolgt die Strahlumlenkung im Bereich des Bauchs B3 durch eine Mehrzahl beidseits der Blende AS angeordneter mäßig stärker und damit ziemlich dünner Positivlinsen L19 bis L23. Damit wird die sphärische Unterkorrektur in diesem Bereich minimiert und gleichzeitig die Baulänge gegenüber dem Einsatz weniger, aber starker und dicker Linsen verringert.

Auch die Variation der Bildfehler beim Abblenden oder bei verschiedenen Beleuchtungs-Einstellungen wird durch diese Maßnahme verringert. Bei den beiden im divergenten Strahlengang stehenden Linsen L19 und L20 erhält letztere mehr Brechkraft. Die Linsen L21 und L22 zeigen gleichmäßig verteilte Brechkraft, der Strahlengang zwischen den beiden ist nahezu parallel. Die Linsen 21 bis 23 übernehmen einen erheblichen Teil der Systembrechkraft bei kleinstmöglicher Erzeugung von sphärischer Überkorrektur und entspannen die Problematik der Abhängigkeit der Fehlerkorrektur von numerischer Apertur und Beleuchtungsart (NA-Sigma-Problem). Somit sind hervorragende Abbildungseigenschaften bei den verschiedensten Beleuchtungseinstellungen und Apertureinstellungen erreichbar.

Die erste Linse L18 der fünften Linsengruppe LG5 ist ein schwach brechender dicker objektseitig konkaver Meniskus. Hier wäre eine Aufteilung durch eine sphärisch überkorrigierende Luftlinse zwar entspannend für die Korrektionswirkung der folgenden Linsen, würde aber die Baulänge unvorteilhaft vergrößern.

Die Linse L24 bildet mit der nur durch einen dünnen Luftspalt getrennten folgenden bikonvexen Linse L25 im wesentlichen einen schwach brechenden dicken Meniskus. Er balanciert durch sphärische Überkorrektur die entsprechende Wirkung der vorangehenden Linsen L18 bis L23. Die Aufspaltung in die zwei Teile L24 und L25 bringt hier wiederum die kürzeste Baulänge. Beide sind die einzigen Linsen bildseitig der Systemblende AS, die objektseitig konkav sind.

Der genau umgekehrte Vorzug von dicker Linse L18 und aufgespaltenem Meniskus L24, L25 erklärt sich aus den unterschiedlichen Umgebungen und Arbeitsbereichen der Menisken. L18 steht wenig belastet im divergenten Strahlengang. Alle Strahlen durchlaufen die Linsenflächen weitgehend normal. Der Meniskus L18 wirkt in erster Linie als Petzval-Element und drückt die Petzvalsumme des Objektivs. Diese Funktion kann jedoch auch umverteilt werden, so daß die Dicke reduziert sein kann.

Der aufgespaltene Meniskus L24, L25 steht im Gegensatz dazu im konvergenten Strahlengang und ist mittel bis stark belastet. Er übernimmt allein die Aufgabe der sphärischen Überkorrektur der näheren Umgebung. Bei einteiliger Ausführung bedingt dies eine beachtliche Dicke. Die Aufspaltung des Meniskus durch einen wenig belasteten Luftraum schafft die Entkopplung von Meniskenradien und Meniskendicke. Dadurch gelingt es, beide Linsen L24, L25 auf geringe Dicke zu setzen und die Gesamtdicke zu senken.

Die beiden negativen Menisken L29 und L30 mit der abschließenden Sammellinse L31 werden in der Literatur teilweise auch als sechste Linsengruppe bezeichnet.

Die Korrektur der sagittalen schiefen sphärischen Aberration bereitet bei Aperturerhöhung besondere Probleme. Durch die obengenannten Maßnahmen im Blendenbereich werden diese bereits gemildert, aber noch nicht gelöst. Im feldwirksamen Bereich zwischen Blende AS und Bild IM wird zur Korrektur der sagittalen schiefen sphärischen Aberration eine Erhöhung der Einzelbrechkraft von Plus- (L26, L27, L28, L31) und Minuslinsen (L29, L30) vorgesehen. Das Mittel der Wahl ist damit die Korrektur durch Kompensation der Bildfehler höherer Ordnung. Allerdings ist dies auch für die relativ großen Durchmesser der Linsen L19 bis L25 im Blendenraum verantwortlich. Die Brechkraft der Negativlinse L29 ist also hoch, drei vorangestellte Positivlinsen L26 bis L28 erlauben die verteilte Bereitstellung der entsprechenden positiven Brechkraft. Durch den bei drei Linsen großen Freiraum hinsichtlich der Durchbiegung der Linsen wird es möglich, die Sinus i-Winkel der Komastahlen hier jeweils unter dem Wert der hohen numerischen Apertur von 0,80 zu halten. Die starke Durchbiegung des negativen Meniskus L29 ergibt vor und hinter ihm sphärisch überkorrigierende Lufträume.

Die Korrektur der Bildfehler außerhalb der Hauptschnitte wird durch die gesteigerte Apertur ganz erheblich erschwert. Zu ihrer Korrektur wird die Abstimmung der Brechkraft in der dritten Linsengruppe LG3 im Bereich des zweiten Bauchs B2 optimiert. Das Linsenpaar L14 und L15 lenkt das Strahlbündel in die zweite Taille T2 und schafft damit in platzsparender Weise ebenso wie Linse L18 einen günstigen Beitrag zur Petzvalkorrektur. Die positiven Linsen L10 bis L13 der dritten Linsengruppe LG3 und die negative Linsengruppe LG4 werden dadurch von Brechkraft entlastet.

Die positive Brechkraft von L14 verbessert die Bildfehler betrachtet im 45°-Schnitt durch die Apertur. Durch die negative Brechkraft von L15 wird die negative vierte Linsengruppe LG4 mit den sphärisch überkorrigierenden Linsen L16 und L17 entlastet, wodurch Zonenfehler in Apertur und Feld reduziert werden.

Zwei Einzellinsen L14, L15 sind hier einem dicken Meniskus klar vorzuziehen: Zum einen kann wie dargestellt die Bildfehlerkorrektur substantiell verbessert werden, zum anderen wird die Kühlung der Linsen, was bei dem schlitzförmigen Feld von Scannern und der nicht vernachlässigbaren Absorption bei hoher Strahlungsleistung ein als "lens heating" bekanntes Problem ist (besonders bei 193 nm), verbessert.

Diese Merkmale sind auch bei den folgenden Ausführungsbeispielen entsprechend zu finden.

Die weiteren Ausführungsbeispiele Fig. 2 und 3 sowie 6 sind bei mäßig hoher Apertur $NA = 0,7$ ausgeführt. Die Schnittweiten reduzieren sich dabei auf 1000 nm.

Das zweite Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 und Tabelle 2 zeigt, daß das Design gegenüber Änderungen in den ersten beiden Linsengruppen LG1 und LG2 weitgehend stabil ist. In der ersten Linsengruppe LG1 haben die ersten beiden Linsen 201 und 202 gegenüber Fig. 1 einen Platzwechsel vorgenommen. In der zweiten Linsengruppe LG2 ist eine positive Linse 207 zwischen die negativen Linsen 206 und 208 bis 210 eingeschoben. Die Ausbildung dieser Linsengruppe LG2 mit oder ohne Positivlinse wird im Stand der Technik vielfach als wichtig dargestellt, so in EP 0 770 895-A (ohne) und EP 0 717 299-A (mit).

Insbesondere die fünfte Linsengruppe zeigt die gleichen qualitativen Merkmale, durch die reduzierte Apertur sind aber die Linsendurchmesser wesentlich reduziert.

Gegenüber dem Meniskuspaar L24/L25 ist hier bei den Linsen 225, 226 der dünne Luftspalt deutlich weniger gekrümmt. Der bei L24/L25 zu Fig. 1 beschriebene Haupteffekt der sphärischen Überkorrektur bleibt erhalten.

Das dritte Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 und Tabelle 3 zeigt die erste Linsengruppe wie Beispiel 2. Die zweite Linsengruppe LG2 zeigt die Positivlinse 308 nunmehr in die Mitte zwischen die je zwei Negativlinsen 306, 307 und 309, 310 gewandert.

Die fünfte Linsengruppe LG5 ist jetzt durch Zusammenfassen der Linsen L24 und L25 der Fig. 1 zum dicken Meniskus 325 um eine Linse auf 13 Linsen reduziert. Mit dieser Anordnung ist ebenso wie bei einer Aufteilung des Meniskus in die zwei Linsen L24 und L25 eine gleich gute Abbildungsleistung möglich.

Bei beiden Ausführungsbeispielen nach Fig. 2 und 3 ist außer der Abschluß-Planplatte P2 noch eine blendennahe Planplatte P1 vorgesehen. Diese kann z. B. als Apodisations-Filter genutzt werden.

Die erreichte gute Bildfehlerkorrektur soll für das Beispiel der Fig. 1 näher dargestellt werden. Fig. 4a bis 4c zeigen die sagittale Querabweichung DZS als Funktion des halben Aperturwinkels DW für die Bildhöhen 13,6, 9,6 und 0 mm. Fig. 5a bis 5c zeigen die entsprechenden Meridionalschnitte DYM.

In Tabelle 4 ist die Verzeichnung des Hauptstrahls Vhs für verschiedene Bildhöhen (in Bruchteilen der maximalen Bildhöhe $Y' = 13,6$ mm) angegeben. Sie liegt für alle Bildhöhen bei maximal 1,5 nm.

Tabelle 5 gibt die Abweichung der Verzeichnung ΔV von diesem Vhs für verschiedene Einstellungen der numerischen Apertur NA und des Kohärenzgrads Sigma.

Ringaperturbeleuchtungen mit den Werten von 0,35–0,70 und 0,50–0,85 von Sigma sind ebenfalls berücksichtigt. Der Größtwert dieser Abweichung ist 4,7 nm, überwiegend liegen die Werte unter 3 nm.

Insgesamt liegt die Verzeichnung also überall und mit allen Einstellungen unter 10 nm, sogar unter 6 nm und überwiegend noch darunter. Dabei sind diese Werte im Zusammenhang mit der sehr hohen NA von 0,8 dieses Objektivs zu sehen. Bei kleinerer NA lassen sich erheblich kleinere Verzeichnungen realisieren.

Es zeigt sich also eine sehr gute Stabilität dieses Designs gegen Änderungen der ausgenutzten Apertur NA (abblenden) und Verändern des Beleuchtungs-Settings (Sigma).

Das weitere Ausführungsbeispiel nach Fig. 6 und Tabelle 6 unterscheidet sich von den vorangehenden Beispielen hauptsächlich durch eine minimierte Variation der realen Blendenlage von 25 mm auf jetzt 15 mm. Dies wurde dadurch erreicht, daß das gekrümmte Bild (Blende) der Pupille durch gezielte Korrektur des Astigmatismus im Tangentialschnitt teilweise kompensiert wurde. Damit kann eine Abblendung ohne Lageänderung der Blende AS ausgeführt werden. Der Abbildungsmaßstab ist 1 : 4, die numerische Apertur ist $NA = 0,70$.

Insgesamt entspricht der Aufbau weitgehend dem Beispiel der Fig. 1. Der Luftspalt zwischen den Linsen 624 und 625 ist nur wenig gekrümmt.

Fig. 7 gibt einen Überblick über ein Beispiel einer Projektionsbelichtungsanlage mit erfindungsgemäßem Projektionsobjektiv. Ein geeignetes Beleuchtungssystem B ist beispielsweise aus EP 0 747 772-A (US Ser. No. 08/658,605) bekannt.

Der Laser 1 ist ein in der Mikrolithographie im tiefen Ultraviolett (DUV) gebräuchlicher KrF-Excimer-Laser mit 248 nm Wellenlänge.

Ein Strahlaufweiter 14, z. B. eine Spiegelanordnung nach DE-A 41 24 311, dient zur Kohärenzreduktion und Vergrößerung des Strahlquerschnitts.

Ein erstes diffraktives optisches Rasterelement 9 bildet die Objektebene eines Objektivs 2, in dessen Austrittspupille ein zweites diffraktives optisches Rasterelement 8 vorgesehen ist.

Eine Einkoppeloptik 4 überträgt das Licht auf die Eintrittsfläche 5e eines Glasstabs 5, der durch mehrfache innere Reflexion das Licht mischt und homogenisiert. Unmittelbar an der Austrittsfläche 5a ist eine Zwischenfeldebene, in der ein Reticle-Masking-System (REMA) 51, eine verstellbare Feldblende, angeordnet ist. Das nachfolgende REMA-Objektiv 6, mit Linsengruppen 61, 63, 65, Umlenkspiegel 64 und Pupillenebene 62 bildet die Zwischenfeldebene des Reticle-Masking-Systems 51 auf das Reticle 7 ab.

Bei einem Wafer-Scanner wird auf dem Reticle 7 ein schmaler Streifen, ein Rechteck mit einem Aspektverhältnis von 1 : 2 bis 1 : 8, beleuchtet und durch Scannen das gesamte strukturierte Feld eines Chips seriell beleuchtet. Die Beleuchtung ist extrem gleichmäßig und randscharf (nur in Richtung senkrecht zur Scanrichtung) zu gestalten.

Die Ausführung der dem Glasstab 5 vorgelagerten Teile, insbesondere der optischen Rasterelemente 8 und 9, ist so gewählt, daß die Eintrittsöffnung 5e nicht nur möglichst homogen, sondern auch mit höchstmöglichem Wirkungsgrad, d. h. ohne wesentliche Lichtverluste neben der Eintrittsöffnung 5e, ausgeleuchtet wird.

Wie in DE 44 21 053 beschrieben, ist das Objektiv 2 ein Zoom-Objektiv (bewegliche Linse 22) mit integriertem verstellbarem Axicon-Paar 21. Die Brennweite hat einen dreifachen Dehnungsbereich, so daß partiell kohärente Beleuchtung mit üblichen Werten von $ca. 0,3 \leq \sigma \leq 0,9$ erzeugt werden kann.

Durch Verstellen des Axicon-Paars 21 lassen sich zudem angepaßte Ringaperturbeleuchtungen einstellen. Durch zusätzliche Blenden oder spezielle Pyramidenform des Axicon-Paars 21 lassen sich zudem Sonderformen der Beleuchtung erzeugen.

DE 198 55 108 A 1

Zwischen Reticle (Maske) 7 und Wafer 9, jeweils mit Scan-Einrichtung 71, 91 und den bekannten Hilfseinrichtungen, ist das erfindungsgemäße Projektionsobjektiv P mit den Linsengruppen P1 bis P5 angeordnet.

Tabelle 1

No.	r (mm)	d (mm)		H _{max} (mm)	5
0b		20,147			10
L1	-2471,057	13,126	Quarzglas		
	-247,584	7,640			15
L2	-163,307	10,000	Quarzglas		
	327,943	7,757			
L3	662,693	22,614	Quarzglas		20
	-209,088	,750			
L4	350,222	21,378	Quarzglas		25
	-416,285	,750		76,9	
L5	265,534	26,426	Quarzglas		
	-413,278	,750			30
L6	197,069	10,000	Quarzglas		
	111,439	26,308			35
L7	-583,382	10,000	Quarzglas	63,0	
	166,249	24,524			
L8	-200,161	10,000	Quarzglas		40
	362,426	28,860			
L9	-126,683	12,696	Quarzglas		45
	-1228,324	16,242			
L10	-227,900	23,521	Quarzglas		
	-170,208	,750			50
L11	47071,771	38,438	Quarzglas		
	-233,889	,750			55
L12	987,385	38,363	Quarzglas		
	-316,598	,750		123,3	
L13	332,464	39,596	Quarzglas		60
	-738,425	1,005			
					65

DE 198 55 108 A 1

	L14	270,193	25,935	Quarzglas	
		1414,789	2,982		
5	L15	176,884	18,578	Quarzglas	
		131,204	47,520		
10	L16	-248,290	10,000	Quarzglas	
		146,085	49,811		76,5
15	L17	-130,140	10,000	Quarzglas	
		1307,156	41,204		
	L18	-132,994	35,292	Quarzglas	
20		-167,225	,813		
	L19	-328,933	24,010	Quarzglas	
25		-237,606	,864		
	L20	17258,370	43,549	Quarzglas	
		-329,484	9,091		
30	L21	2237,627	40,932	Quarzglas	
		-473,604	10,000		
35	AS		,750		153,1
	L22	632,745	28,431	Quarzglas	154,9
		-3192,952	,750		
40	L23	259,148	45,432	Quarzglas	
		1097,996	57,012		
45	L24	-268,055	24,571	Quarzglas	
		-312,384	,902		
50	L25	-334,579	23,847	Quarzglas	
		-288,740	,750		
	L26	226,326	28,117	Quarzglas	
55		547,657	,750		
	L27	122,960	34,861	Quarzglas	
60		225,966	,750		
	L28	117,965	21,109	Quarzglas	
		174,068	13,226		
65	L29	348,448	10,000	Quarzglas	
		60,716	11,148		

DE 198 55 108 A 1

L30	73,830	10,069	Quarzglas	
	55,083	,750		
L31	49,652	24,194	Quarzglas	5
	358,744	4,390		
P1	∞	2,492	Quarzglas	10
	∞	13,082		
IM			13,6	15
				20
				25
				30
				35
				40
				45
				50
				55
				60
				65

DE 198 55 108 A 1

Tabelle 2

No.	r (mm)	d (mm)	
5			
	0b	16,403	
	201	-135,127	8,261 Quarzglas
10		444,747	6,467
	202	2236,824	25,206 Quarzglas
15		-162,634	,750
	203	614,107	18,869 Quarzglas
		-359,473	,767
20	204	296,810	20,742 Quarzglas
		-800,016	,828
25	205	273,478	21,990 Quarzglas
		-784,045	,753
30	206	158,758	15,580 Quarzglas
		92,816	26,614
	207	-5054,350	11,927 Quarzglas
35		-272,904	2,399
	208	-324,986	6,943 Quarzglas
40		136,767	20,167
	209	-260,466	7,605 Quarzglas
		192,638	30,771
45	210	-103,229	8,994 Quarzglas
		-2019,310	13,398
50	211	-206,341	17,802 Quarzglas
		-138,999	,751
	212	958,350	42,708 Quarzglas
55		-166,018	,750
	213	407,944	29,112 Quarzglas
60		-547,681	,750
65			

DE 198 55 108 A 1

214	202,874	32,883	Quarzglas	
	-2504,913	1,264		
215	211,073	13,084	Quarzglas	5
	294,918	1,324		
216	159,796	15,645	Quarzglas	10
	111,543	36,908		
217	-255,208	10,239	Quarzglas	15
	127,421	40,141		
218	-120,165	9,745	Quarzglas	20
	1795,197	27,676		
219	-127,485	34,689	Quarzglas	25
	-146,296	1,681		
220	-317,078	20,599	Quarzglas	30
	-245,933	,762		
221	3679,928	30,729	Quarzglas	35
	-292,519	,650		
P1	∞	5,009	Quarzglas	40
	∞	17,000		
AS		25,000		
222	801,236	27,052	Quarzglas	45
	-632,990	,750		
223	551,359	25,021	Quarzglas	50
	-1150,052	,751		
224	194,154	32,180	Quarzglas	55
	591,161	34,477		
225	-287,051	10,385	Quarzglas	60
	3278,663	2,220		
226	3516,772	30,035	Quarzglas	65
	-295,907	,763		
227	262,200	19,612	Quarzglas	
	1177,101	,822		
228	99,415	26,707	Quarzglas	
	191,643	,753		

DE 198 55 108 A 1

	229	105,014	16,537	Quarzglas
		128,146	12,829	
5	230	391,872	7,165	Quarzglas
		55,094	10,778	
10	231	78,459	12,612	Quarzglas
		56,684	,777	
15	232	46,211	22,360	Quarzglas
		632,773	2,119	
	P2	∞	1,935	Quarzglas
20		∞		
	IM			
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				
60				
65				

DE 198 55 108 A 1

Tabelle 3

No.	r (mm)	d (mm)		
0b		16,402		5
301	-129,495	8,261	Quarzglas	
	498,546	5,177		10
302	2910,308	25,398	Quarzglas	
	-156,581	,050		15
303	634,336	18,854	Quarzglas	
	-347,330	,301		20
304	306,046	18,385	Quarzglas	
	-737,998	,348		
305	271,858	21,701	Quarzglas	25
	-702,302	,776		
306	156,163	17,879	Quarzglas	30
	92,619	25,370		
307	-2510,654	8,958	Quarzglas	
	139,288	19,325		35
308	-302,813	11,398	Quarzglas	
	-154,794	5,090		40
309	-167,161	7,960	Quarzglas	
	178,376	32,638		
310	-103,339	9,166	Quarzglas	45
	-1706,866	12,661		
311	-202,377	17,389	Quarzglas	50
	-140,454	,651		
312	987,948	43,015	Quarzglas	
	-166,809	,650		55
313	410,646	29,373	Quarzglas	
	-550,047	,651		60

65

DE 198 55 108 A 1

	314	205,772	33,049	Quarzglas
		-2521,253	,6514	
5	315	213,410	13,198	Quarzglas
		290,632	2,731	
10	316	163,855	18,894	Quarzglas
		111,910	36,126	
15	317	-254,971	9,329	Quarzglas
		125,915	38,073	
	318	-120,961	9,708	Quarzglas
20		1713,294	25,896	
	319	-128,631	34,802	Quarzglas
		-148,294	2,087	
25	320	-321,227	19,897	Quarzglas
		-242,281	,618	
30	321	2663,658	30,600	Quarzglas
		-296,524	,681	
35	P1	∞	4,588	Quarzglas
		∞	17,000	
	AS			
40	322	799,643	27,212	Quarzglas
		-634,102	,705	
45	323	524,124	26,037	Quarzglas
		-1088,912	,650	
50	324	194,184	32,260	Quarzglas
		593,348	32,929	
	325	-291,552	42,741	Quarzglas
55		-300,355	,729	
	326	262,260	19,800	Quarzglas
		1149,322	,701	
60	327	101,103	27,117	Quarzglas
		197,398	,637	
65	328	105,683	17,553	Quarzglas
		131,192	11,164	

DE 198 55 108 A 1

329	445,739	7,334	Quarzglas	
	56,924	10,924		
330	78,549	13,969	Quarzglas	5
	56,171	1,161		
331	46,702	22,163	Quarzglas	10
	689,875	2,680		
P2	∞	1,749	Quarzglas	15
	∞	11,991		

IM

Tabelle 4

1/8	2/8	4/8	6/8	1	
1,1	1,5	0,1	0,9	0,7	25

Tabelle 5

ΔV (nm)

NA	Sigma	1/8	2/8	4/8	6/8	1	
0,80	0,35	3,6	2,2	1,3	3,9	-1,2	35
0,80	0,50	3,3	2,2	1,3	3,2	-1,3	
0,80	0,70	3,0	1,6	0,1	1,7	-1,4	40
0,80	0,90	2,5	0,7	-1,2	0,9	-0,7	
0,80	0,35 - 0,70	2,7	1,4	-0,3	0,8	-1,5	
0,80	0,50 - 0,85	2,2	0,3	-2,0	-0,2	-0,6	45
0,70	0,50	2,9	2,7	3,0	4,5	-1,8	
0,70	0,70	2,6	2,1	1,7	2,7	-2,0	50
0,70	0,90	2,5	1,5	0,6	1,7	-1,5	
0,70	0,35 - 0,70	2,6	2,0	1,4	2,0	-1,9	
0,70	0,50 - 0,85	2,4	1,3	-0,1	0,6	-1,6	55
0,60	0,70	3,3	3,6	4,2	4,7	-1,2	
0,60	0,90	3,0	2,9	2,8	3,1	-1,7	60
0,60	0,35 - 0,70	3,2	3,5	4,1	4,5	-1,3	
0,60	0,50 - 0,85	2,8	2,7	2,5	2,5	-2,1	65

DE 198 55 108 A 1

Tabelle 6

No.	r (mm)	d (mm)	Glas
5			
	0b	36,005	
10	601	-1823,618	15,518 Quarzglas
		-214,169	10,000
	602	-134,291	7,959 Quarzglas
15		328,009	6,376
	603	783,388	26,523 Quarzglas
		-163,805	,600
20	604	325,109	20,797 Quarzglas
		-499,168	1,554
25	605	224,560	24,840 Quarzglas
		-403,777	,600
30	606	142,336	9,000 Quarzglas
		86,765	23,991
	607	6387,721	7,700 Quarzglas
35		148,713	21,860
	608	-185,678	8,702 Quarzglas
40		237,204	30,008
	609	-104,297	9,327 Quarzglas
		-1975,424	12,221
45	610	-247,819	17,715 Quarzglas
		-152,409	,605
50	611	1278,476	40,457 Quarzglas
		-163,350	,778
	612	697,475	28,012 Quarzglas
55		-346,153	2,152
	613	232,015	28,068 Quarzglas
60		-3080,194	2,606
65			

DE 198 55 108 A 1

614	219,153	21,134	Quarzglas	
	434,184	9,007		
615	155,091	13,742	Quarzglas	5
	103,553	34,406		
616	-207,801	8,900	Quarzglas	10
	131,833	35,789		
617	-118,245	9,299	Quarzglas	15
	1262,191	27,280		
618	-121,674	42,860	Quarzglas	
	-151,749	,825		20
619	-366,282	20,128	Quarzglas	
	-236,249	,838		25
620	2355,228	31,331	Quarzglas	
	-296,219	2,500		
P61	∞	6,000	Quarzglas	30
	∞	12,554		
AS				35
621	774,283	29,041	Quarzglas	
	-782,899	,671		
622	456,969	28,257	Quarzglas	40
	-1483,609	,603		
623	227,145	30,951	Quarzglas	45
	658,547	36,122		
624	-271,535	15,659	Quarzglas	50
	-997,381	4,388		
625	-1479,857	27,590	Quarzglas	
	-288,684	,604		55
626	259,988	22,958	Quarzglas	
	1614,379	,600		60
627	105,026	29,360	Quarzglas	
	205,658	,600		
628	110,916	16,573	Quarzglas	65
	139,712	13,012		

629	499,538	8,300	Quarzglas
	56,675	9,260	
5 630	75,908	17,815	Quarzglas
	51,831	,995	
10 631	43,727	19,096	Quarzglas
	499,293	2,954	
15 P62	∞	2,000	Quarzglas
	∞	12,000	

Im

20

Patentansprüche

1. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv mit einer Linsenordnung, bestehend aus einer ersten Linsengruppe (LG1) positiver Brechkraft, zweiten Linsengruppe (LG2) negativer Brechkraft, dritten Linsengruppe (LG3) positiver Brechkraft, vierten Linsengruppe (LG4) negativer Brechkraft und fünften Linsengruppe (LG5) positiver Brechkraft, **dadurch gekennzeichnet**, daß die bildseitige numerische Apertur größer als 0,65 ist, vorzugsweise größer als 0,68, die Systemblende (AS) in der fünften Linsengruppe (LG5) liegt und mindestens zwei Linsen dieser Linsengruppe (LG5) vor der Systemblende (AS) liegen.
2. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv mit einer Linsenordnung, bestehend aus einer ersten Linsengruppe (LG1) positiver Brechkraft, zweiten Linsengruppe (LG2) negativer Brechkraft, dritten Linsengruppe (LG3) positiver Brechkraft, vierten Linsengruppe (LG4) negativer Brechkraft und fünften Linsengruppe (LG5) positiver Brechkraft **dadurch gekennzeichnet**, daß die Systemblende in der fünften Linsengruppe (LG5) liegt, mindestens zwei Linsen (L18, L19, L20, L21) dieser Linsengruppe (LG5) vor der Systemblende (AS) liegen und diese Linsengruppe (LG5) mindestens 13 Linsen (L18–L31) aufweist.
3. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Systemblende (AS) zwischen zwei Sammellinsen (L21, L22) angeordnet ist und bildseitig mindestens eine weitere Sammellinse (L23) unmittelbar folgt.
4. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die erste Linse (L18) der fünften Linsengruppe (LG5) ein schwach brechender dicker objektseitig konkaver Meniskus ist.
5. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß nach der Systemblende (AS) genau eine objektseitig konkave Linse (225, 325) folgt.
6. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die objektseitig konkave Linse (325) ein dicker Meniskus ist.
7. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die objektseitig konkave Linse (225) mit einem dünnen Luftspalt von einer Sammellinse (226) gefolgt wird.
8. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß nach der Systemblende (AS) genau ein Paar objektseitig konkaver Linsen (L24, L26) folgt, welche mit einem dünnen Luftspalt voneinander getrennt sind.
9. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Luftspalt objektseitig konkav ist (Fig. 6).
10. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Abblenden bis zu 70% der numerischen Apertur die Verzeichnung unterhalb von 10 nm, vorzugsweise unter 6 nm, bleibt.
11. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv mit einer Linsenordnung, bestehend aus einer ersten Linsengruppe (LG1) mit positiver Brechkraft, einen Bauch (B1) des Lichtbündels bildend, einer zweiten Linsengruppe (LG2) mit negativer Brechkraft, eine Taille (T1) des Lichtbündels bildend, einer dritten Linsengruppe (LG3) mit positiver Brechkraft, einen zweiten Bauch (B2) des Lichtbündels bildend, einer vierten Linsengruppe mit negativer Brechkraft, eine zweite Taille (T2) des Lichtbündels bildend, einer fünften Linsengruppe (LG5) mit positiver Brechkraft,

- einen dritten Bauch (B3) des Lichtbündels bildend,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Systemblende (AS) in der fünften Linsengruppe (LG5) angeordnet ist, und zwar im Bereich der Linse (L22), an
der das Lichtbündel den größten Durchmesser annimmt, und ihrer beiden benachbarten Linsen (L21, L23). 5
12. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Systemblende (AS) zwischen zwei Sammellinsen (L21, L22) der fünften Linsengruppe (LG5) angeordnet ist.
13. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Linsengruppe (LG2) mindestens zwei negative Linsen (206, 208–210) und eine positive Linse (207) enthält. 10
14. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1–13, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Linse (201) objektseitig konkav ist.
15. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1–14, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der vierten Linsengruppe (LG4) genau drei Negativ-Linsen (L15–L17) rund um die zweite Taille (T2) angeordnet sind. 15
16. Mikrolithographisches Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1–15, dadurch gekennzeichnet, daß der Sinus des i-Winkels des Randstrahls ($\sin i_{\text{Rand}}$) an allen Linsen vor der letzten objektseitigen Linse (L31) kleiner als die objektseitige numerische Apertur (NA) ist ($\sin i_{\text{Rand}} < NA$). 15
17. Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie mit
einer Lichtquelle (1), insbesondere einem DUV-Excimer-Laser, 20
einem Beleuchtungssystem (B),
einem Masken-Halte- und -Justiersystem (7, 71),
einem Projektionsobjektiv (P) nach mindestens einem der Ansprüche 1–16 und
einem Objekt-Halte- und -Justier-System (9, 91).
18. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem (B) 25
verschiedene Beleuchtungsarten, insbesondere mit verschiedenem Kohärenzgrad, erzeugt und das Projektionsobjektiv (P) bei den verschiedenen Beleuchtungsarten die Verzeichnung unterhalb von 10 nm, vorzugsweise unterhalb von 6 nm hält.
19. Herstellverfahren mikrostrukturierter Bauelemente unter Anwendung mehrerer mikrolithographischer Belichtungen mit einer Projektionsbelichtungsanlage mit den Merkmalen der Ansprüche 17 und 9, wobei bei verschiedenen 30
Belichtungen verschiedene Beleuchtungsarten und/oder numerische Apertur eingestellt werden.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

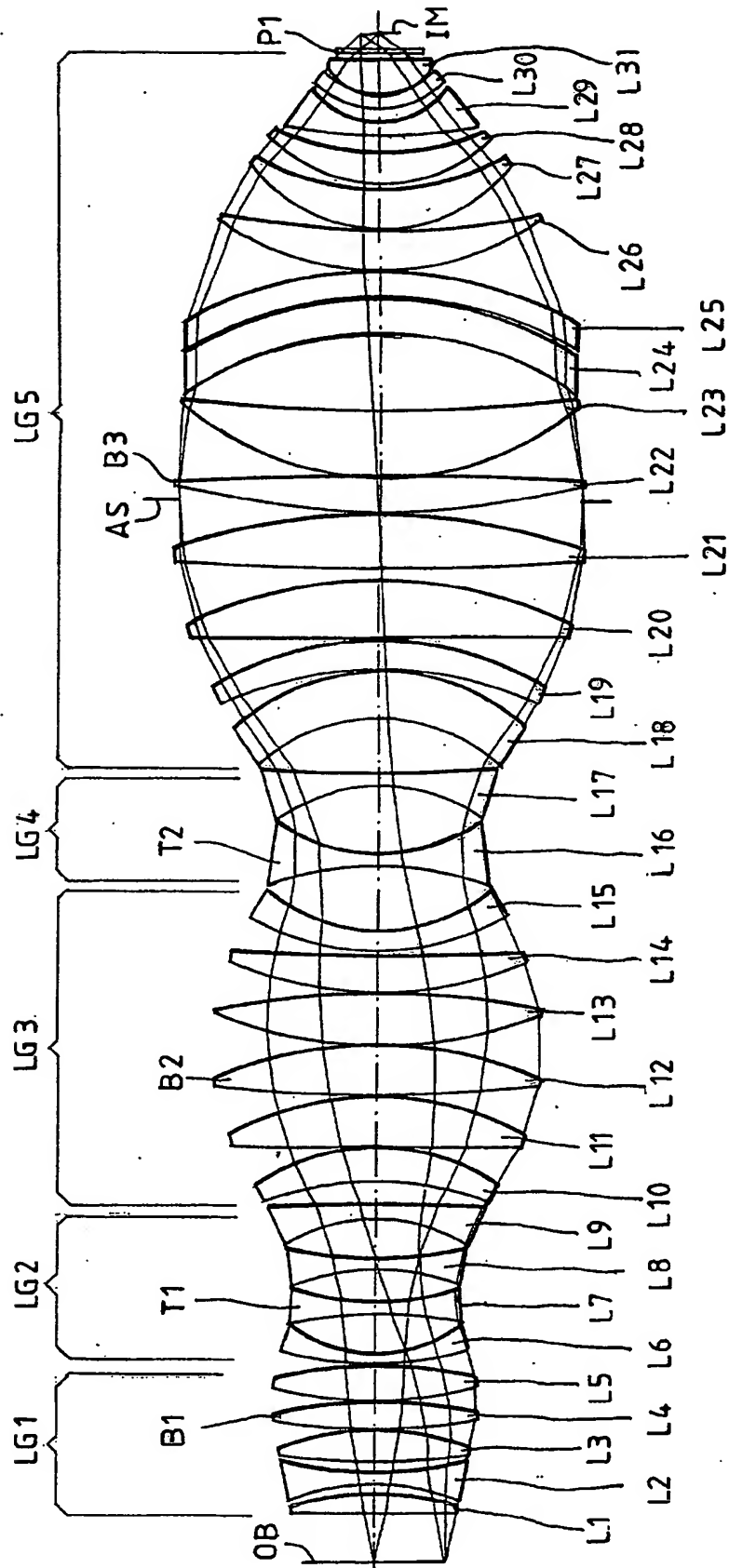


FIG. 2

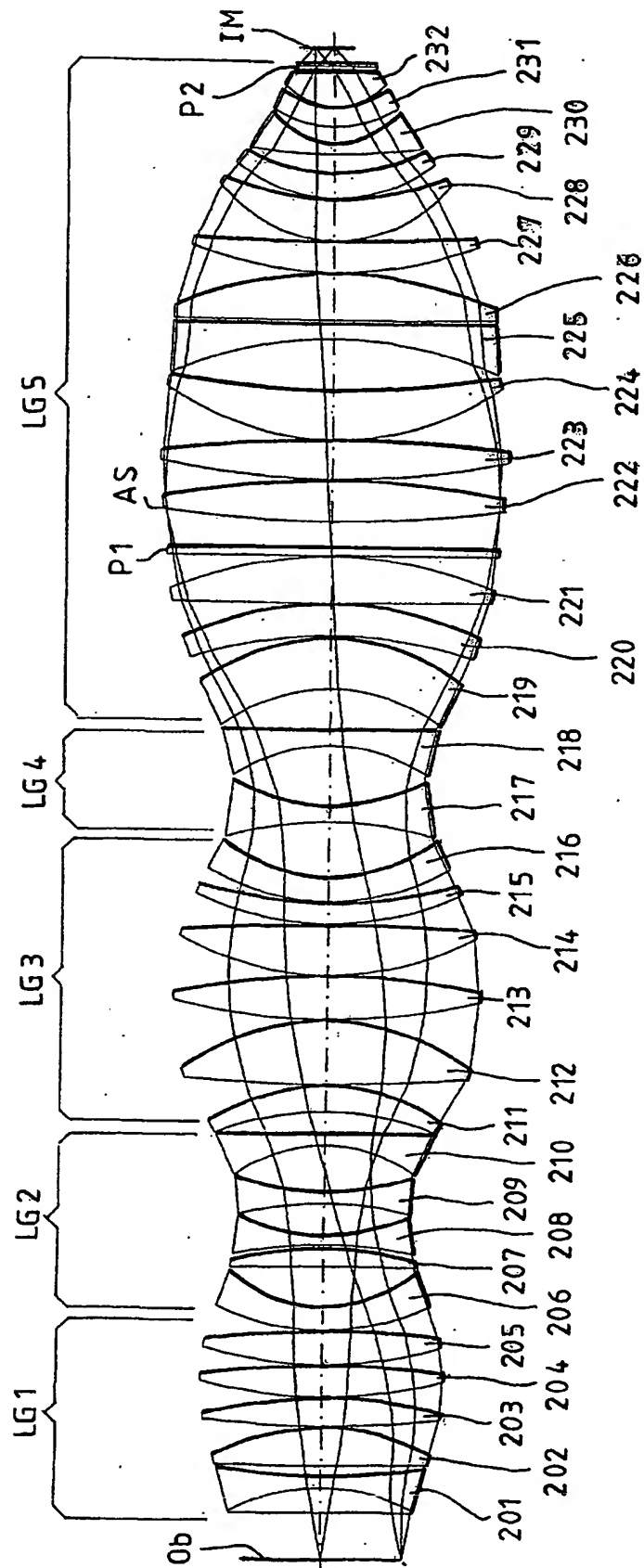


FIG. 3

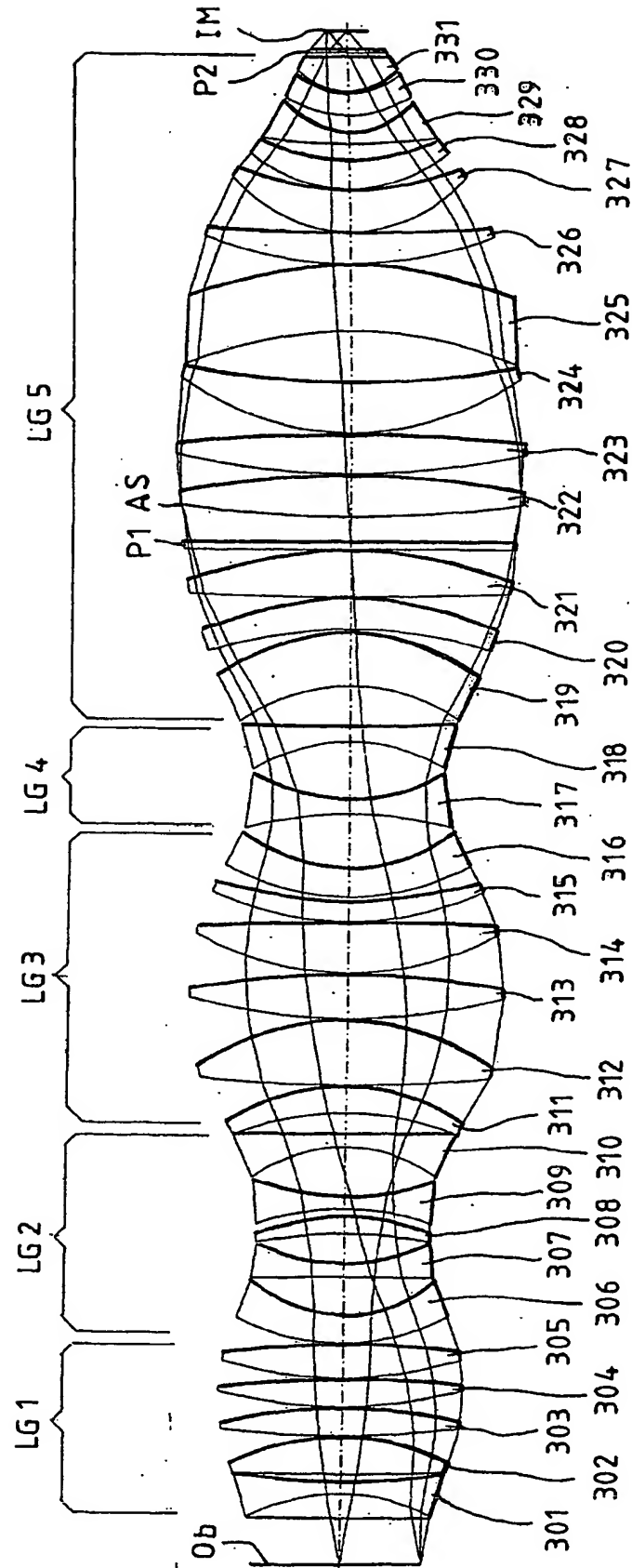


FIG. 4a

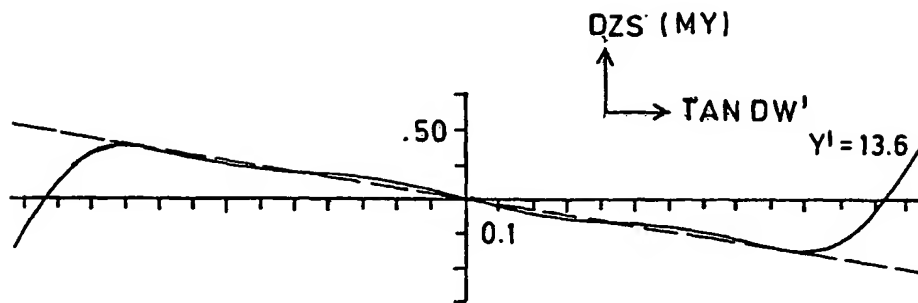


FIG. 4b

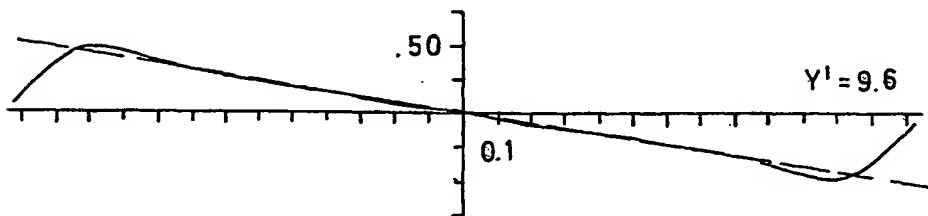


FIG. 4c

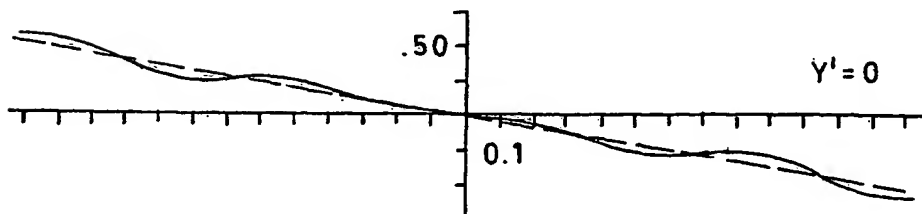


FIG. 5a

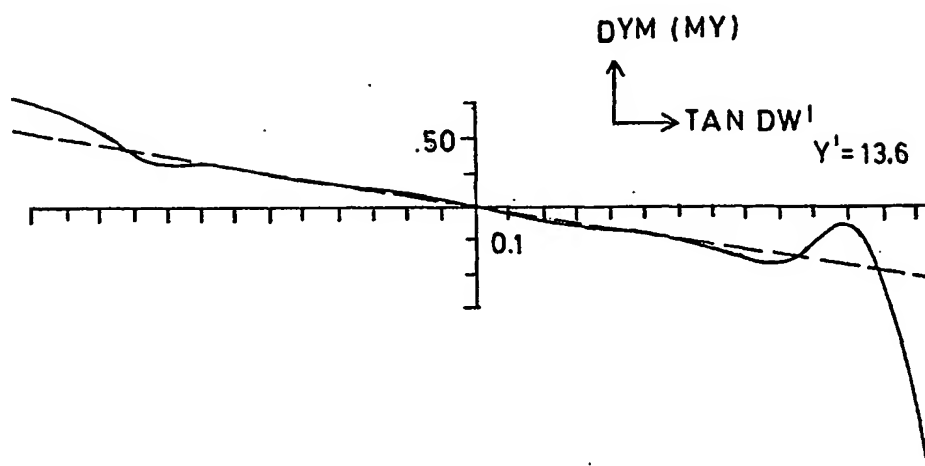


FIG. 5b

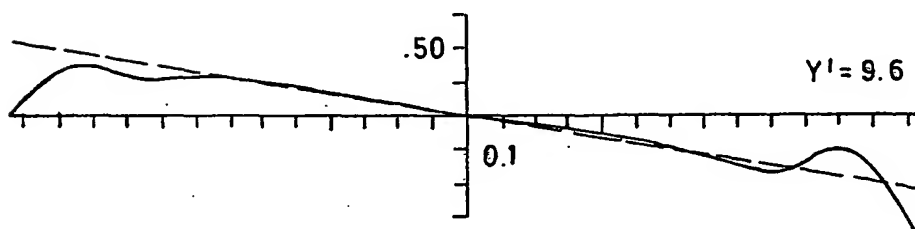


FIG. 5c

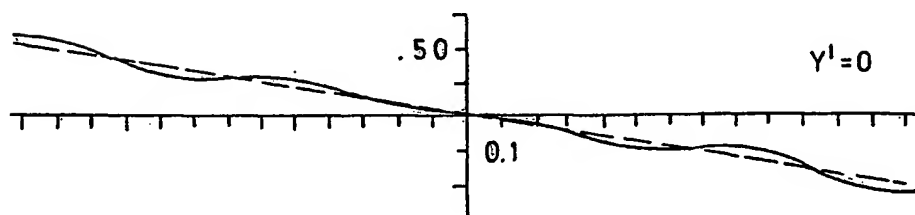
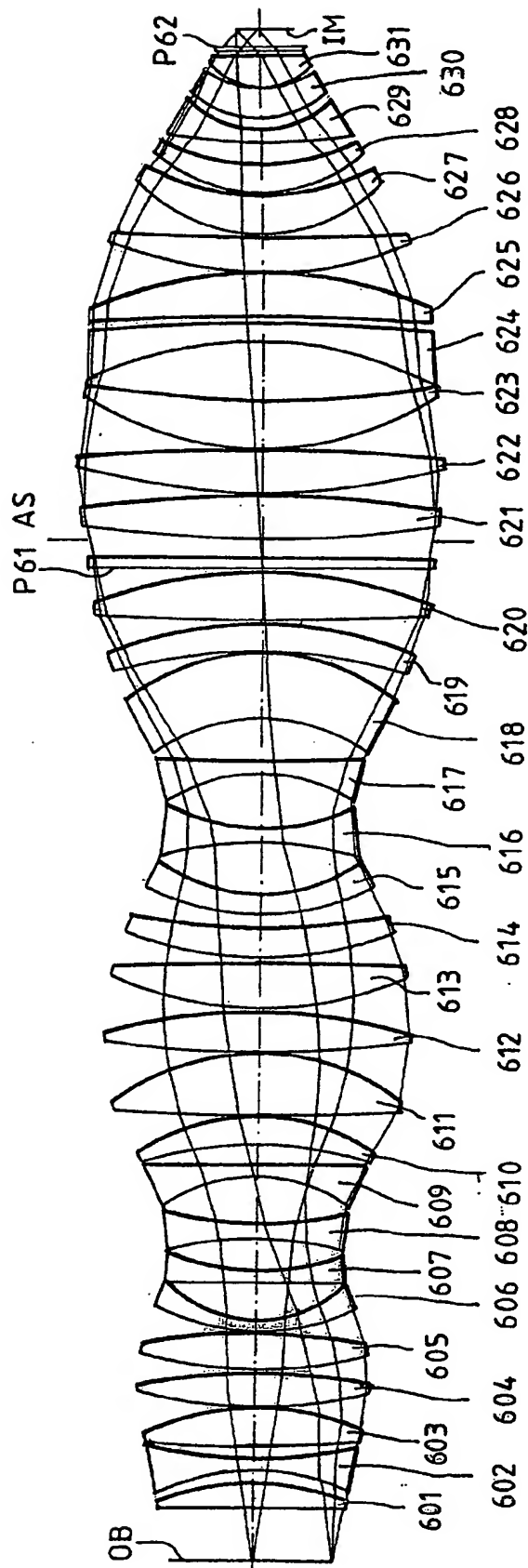


FIG. 6



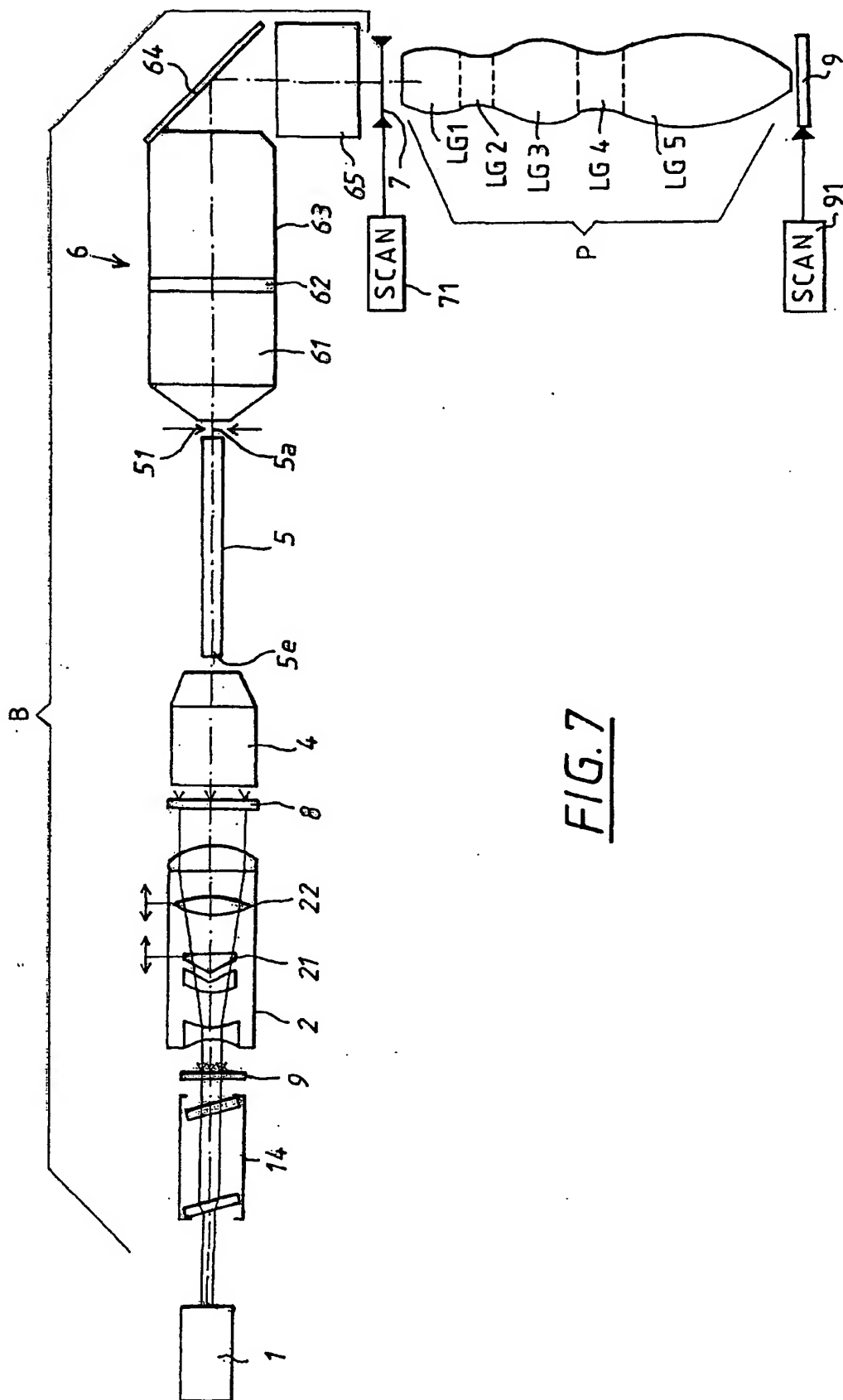


FIG. 7